ChinaXiv合作期刊

doi:10.13866/j.azr.2019.02.21

短花针茅荒漠草原斑块尺度物种多样性及其共存格局①

于瑞鑫[1,2]， 田 娜[1,2]， 王 兴[1,2]， 王 磊[1,2]，
杨新国[1,2]， 蒋 齐[3]， 周 娟[1,2]

（1. 宁夏大学西北土地退化与生态系统恢复省部共建国家重点实验室培育基地，宁夏 银川 750021；
2. 宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室，宁夏 银川 750021；
3. 宁夏农林科学院荒漠化治理研究所，宁夏 银川 750002）

摘 要： 阐明斑块尺度上物种共存格局，对于深入认识荒漠草原破碎化草地生物多样性的维持机理具有重要意义。按斑块的土壤生境退化程度，选取短花针茅荒漠草原3类典型群落斑块为研究对象，对比分析不同斑块的物种构成、多样性及物种间的共存关系格局。结果表明：① 斑块A属单优种短花针茅（*Stipa breviflora*）群落；斑块B为短花针茅＋草木樨状黄耆（*Astragalus melilotoides*）群落；斑块C为苦豆子（*Sophora alopecuroides*）＋老瓜头（*Cynanchum komarovii*）＋猪毛蒿（*Artemisia scoparia*）群落。② 群落结构中斑块A和斑块B多样性相近，均高于无短花针茅生长的斑块C。③ 基于零模型的分析结果显示，物种共存格局的复杂性和强度为：斑块A＞斑块B＞斑块C，且下降趋势明显，斑块A存在的16组显著物种对中有4组为显著竞争关系，而斑块C中的物种对减少到7组，且仅存在猪毛蒿与苦豆子组显著竞争物种对。结论：表明未沙化的土壤生境斑块是荒漠草原破碎化草地生物多样性维持的一个重要前提，土壤生境的退化显著降低了斑块内部群落组织的复杂性和物种间相互作用的强度，不利于群落的自我维持。

关键词： 荒漠草原；短花针茅；斑块尺度；重要值；物种多样性；共存格局；零模型；宁夏

在自然和人类活动的共同作用下[1-2]，荒漠草原出现了不同程度的破碎化现象。生境破碎化被认为是生物多样性和生态系统退化的主要原因之一[3]，逐渐成为研究的热点。草地生境的破碎化引发了土壤性状和群落结构的显著变化[4-5]，土壤生境变化和植被演替过程相互作用，空间上单优或少数几种优势植物形成的群落以斑块的形式镶嵌分布，并与不同的土壤生境类型相适应。因此，对于破碎化草地而言，在斑块尺度上对植物群落物种组成与种间相互作用关系进行研究具有重要的意义。

斑块尺度上群落物种共存格局与影响因素的研究不断得到深入。斑块的大小可能导致其生物量在数量上和空间分布上的不同。一些学者认为斑块面积的减小和隔离度的增加，增加了物种的灭绝风险，生境斑块被占领的概率下降，对于局域群落物种丰富度是有利的，但对于维持区域的物种多样性是不利的[6]。土壤的含水量是限制植物生长的主要环境因子，直接影响植物的生长、植物群落的分布及稳定性，马晓东[7]等对土壤水分与植被变化的关系进行研究发现，土壤含水率与植被的时空分布具有同步性。在环境资源或空间不足的情况下，物种间的相互作用关系则是植物群落结构、动态的主要动力之一[8]。高福元等[9]对甘肃臭草（*Melica przewalskyi*）为优势种的群落斑块进行了研究，其对伴生种西北针茅（*Stipa sareptana*）表现出格局控制关系，使西北针茅由种内竞争转化为种间竞争，进而改变其空间分布格局变化。荒漠草原作为4个过渡带的重叠区，长期的水资源匮乏，生境破碎化，形成了典型的植物群落斑块结构，对这种特殊的群落结构的物种多样性及共存格局问题的研究已经受到越来越多的关注。

鉴于此，本研究在斑块尺度上对宁夏短花针茅荒漠草原不同斑块内的物种进行研究，以共存格局为切入点，以显著物种对识别为研究方法，分析不同

① **收稿日期：** 2018-11-12； **修订日期：** 2018-12-17
基金项目： 国家自然科学基金项目（31760707，41461046，31460161）；国家重点研发计划（2016YFC0500700）；宁夏回族自治区西部一流学科建设项目（NXYLXK2017B06）
作者简介： 于瑞鑫（1994-），女，硕士研究生，从事植物生态学研究. E-mail: Yuruixin5962@163.com
通讯作者： 王磊. E-mail: WL8999@163.com

chinaXiv:201909.00172v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201909.00172v1

斑块内群落的多样性状况及共存格局。旨在对短花针茅荒漠草原群落的多样性及其种间关系进行深度了解,对荒漠草原区植物群落演替、群落构建、植被恢复和植物资源的开发利用具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏盐池县皖记沟村(37°04′~38°10′N,106°30′~107°47′E),地处宁夏东部,是干旱草原向荒漠草原过渡的地带,属中温带大陆性气候,年均气温为8.4 ℃,年均无霜期为160 d,年均降水量250~350 mm,主要集中在7—9月,土壤以灰钙土、风沙土、黑垆土为主,试验区发育在灰钙土上,以短花针茅为建群种,小面积斑块分布的猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、牛枝子(*Lespedeza potaninii*)、老瓜头(*Cynanchum komarovii*)、草木樨状黄耆(*Astragalus melilotoides*),山苦荬(*Ixeridium chinense*)等草本植物为主体[10]。

1.2 研究方法

在前期调查的基础上,于2017年8月植物生长旺盛期开展野外实地样方调查,封育围栏内选取具有代表性的破碎化草地试验样地33.34 hm^2,按照表层0~10 cm土壤沙化程度(表1)确定3个不同类型斑块,分别是斑块A(短花针茅群落,未沙化)40 m×80 m,斑块B(短花针茅+草木樨状黄耆群落,轻度沙化)40 m×80 m,斑块C(苦豆子+老瓜头+猪毛蒿群落,沙化)40 m×80 m。不同斑块内的土壤含水量均表现为逐层增加的趋势,且斑块B>斑块A>斑块C;土壤机械组成中0~10 cm土层黏粉粒含量表现为斑块A>斑块B>斑块C,10~20 cm和20~40 cm土层黏粉粒含量表现为斑块B>斑块A>斑块C,细砂粒含量总体表现为斑块A>斑块B>斑块C,0~10 cm土层和10~20 cm土层粗砂粒含量表现为斑块C>斑块B>斑块A,20~40 cm土层粗砂粒含量表现为斑块C>斑块A>斑块B;3类斑块0~40 cm土壤养分总体表现为降低趋势,土壤中全氮含量基本相同,有机碳含量和有效磷含量表现为斑块B>斑块A>斑块C。每个斑块内等距离布设50个1 m×1 m的固定监测样方并进行排序,对每个固定样方进行调查,分别统计样方内部的植物名称、株丛数、高度、盖度等指标,高度采用植物自然高度测定,盖度采用针刺法测定[11]。

1.3 数据处理

(1) 基于样方调查数据,计算各个物种重要值(I)、物种丰富度(R)、香农-维纳指数(Shannon-Wiener指数:H)、均匀度指数(Pielou指数:J)、优势度指数(Simpson指数:D)。各指数计算公式如下:

$$I = (\text{相对盖度} + \text{相对高度} + \text{相对多度})/3 \quad (1)$$

$$R = S \quad (2)$$

$$H = \sum_{i=1}^{S}(P_i \ln P_i) \quad (3)$$

$$J = H/\ln S \quad (4)$$

$$D = 1 - \sum_{i=1}^{S}(P_i^2) \quad (5)$$

式中:S表示样方内的平均物种数;P_i表示样方中第i个物种占总物种数的比例。

(2) 物种共存格局分析:基于R语言"ecospat"包分析,将所有物种多度数据转化为物种有无数据矩阵(presence-absence matrix)。采用FF (fixed row-fixed column)算法计算物种共存指数C-score,同时

表1 不同斑块类型土壤属性

Tab.1 Soil properties of different patch types

斑块类型	土壤深度/cm	机械组成/% 黏粉粒(<0.05 mm)	细砂粒(0.1~0.05 mm)	粗砂粒(2~0.1 mm)	有机碳含量/%	全氮含量/%	有效磷含量/%	土壤水分/%
斑块A	0~10	4.99	84.86	10.15	0.32	0.04	2.68	6.71
	10~20	4.58	85.01	10.41	0.23	0.03	2.03	7.43
	20~40	2.91	79.00	18.10	0.21	0.03	1.58	9.24
斑块B	0~10	3.77	63.43	32.80	0.36	0.04	2.75	7.35
	10~20	6.85	77.35	15.80	0.28	0.03	1.29	8.49
	20~40	6.70	81.12	12.17	0.20	0.02	1.28	8.93
斑块C	0~10	1.54	38.08	60.38	0.38	0.04	4.39	3.23
	10~20	1.20	29.27	69.52	0.28	0.03	1.13	4.45
	20~40	1.28	31.68	67.05	0.25	0.03	1.07	4.91

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201909.00172v1

将得到的标准效应量(standardized effect size, SES)用来比较结果的显著性[12]。SES > 2.0 表明物种对为显著的负相互作用关系(隔离性关系),说明存在显著的种间相互竞争;SES < -2.0 表明物种对为显著的正相互作用关系,说明物种对不存在显著的种间相互竞争。SES 绝对值大小可以反映群落聚集或隔离程度,同样可以反映物种间相互作用程度[13]。

2 结果与分析

2.1 不同斑块植被重要值分析

3 类斑块中的植物种群重要值大于 10% 的植物种群共有 22 种,其在不同群落斑块中的重要值比较见表 2。主要物种短花针茅在不同斑块下的重要值分别为:斑块 A 为 29.72%,斑块 B 为 23.26%,斑块 C 则不存在短花针茅。斑块 A 中短花针茅的重要值比斑块 B 高 6.46%,说明斑块 A 中短花针茅株丛破碎化程度和分蘖能力高于斑块 B。苦豆子和猪毛蒿作为主要伴生种和优势种,其在斑块 A、斑块 B、斑块 C 的重要值分别为 14.98%、14.26%、24.21% 和 9.33%、12.37%、33.73%,说明苦豆子和猪毛蒿在斑块 C 的形成过程中占主要的地位,但在斑块 A 和斑块 B 中的作用及地位略低。另外,草木樨状黄耆在 3 个斑块中的重要值分别为18.95%、23.86%、18.86%,说明草木樨状黄耆在短花针茅荒漠草原中的适应程度更强。

2.2 不同群落斑块物种多样性分析

对 3 类典型群落斑块物种多样性指数进行分析(表 3),斑块 A 和斑块 B 的物种丰富度、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 指数之间差异不显著($P > 0.05$),说明斑块 A 与斑块 B 之间的物种多样性、群落复杂程度、物种个体分配均匀程度基本相同。斑块 C 的 4 项多样性指数显著低于其他 2 个斑块($P < 0.05$),说明斑块 C 的物种多样性、群落复杂程度、物种个体分配程度都低于斑块 A 和斑块 B。可见,以短花针茅为主体的植物群落斑块可以较好地保持植物群落的均匀度、维持较复杂的群落结构,

表 2 不同斑块植物种群编号和重要值

Tab. 2 Serial numbers and important values of plant populations in different patch types

序号	物种	平均重要值/%			序号	物种	平均重要值/%		
		斑块 A	斑块 B	斑块 C			斑块 A	斑块 B	斑块 C
1	短花针茅 *Stipa breviflora*	29.72	23.26	–	16	米口袋 *Gueldenstaedtia verna*	3.80	3.92	12.10
2	苦豆子 *Sophora alopecuroides*	14.98	14.26	24.21	17	牛枝子 *Lespedeza potaninii*	11.00	15.86	16.32
3	猪毛蒿 *Artemisia scoparia*	9.33	12.37	33.73	18	老瓜头 *Cynanchum komarovii*	15.13	17.59	24.31
4	阿尔泰狗娃花 *Heteropappus altaicus*	8.19	10.91	11.01	19	菟丝子 *Cuscuta chinensis*	11.23	8.20	10.84
5	砂珍棘豆 *Oxytropis racemosa*	7.82	6.06	9.50	20	角蒿 *Incarvillea sinensis*	–	–	18.02
6	赖草 *Leymus secalinus*	12.89	18.62	12.03	21	沙生大戟 *Euphorbia kozlovii*	7.23	6.55	8.01
7	骆驼蓬 *Peganum harmala*	12.82	8.50	13.32	22	糙隐子草 *Cleistogenes squarrosa*	9.26	10.29	–
8	狗尾草 *Setaria viridis*	–	–	11.79	23	沙打旺 *Astragalus adsurgens*	9.87	–	9.15
9	草木樨状黄耆 *Astragalus melilotoides*	18.95	23.86	18.86	24	鹤虱 *Lappula myosotis*	–	–	10.04
10	蒺藜 *Tribulus terrester*	4.75	5.57	15.86	25	二裂委陵菜 *Potentilla bifurca*	–	7.05	–
11	猫头刺 *Oxytropis aciphylla*	10.46	10.25	–	26	砂蓝刺头 *Echinops gmelini*	–	12.51	11.19
12	披针叶黄华 *Thermopsis lanceolata*	7.62	7.29	13.96	27	银灰旋花 *Convolvulus ammannii*	16.26	17.27	–
13	蒙古虫实 *Corispermum mongolicum*	7.79	–	19.31	28	雾冰藜 *Bassia dasyphylla*	–	–	9.96
14	猪毛菜 *Salsola collina*	9.60	9.36	22.07	29	远志 *Polygala tenuifolia*	–	9.88	–
15	山苦荬 *Ixeridium chinense*	7.11	4.08	8.41					

表 3 不同斑块类型物种多样性指数差异比较

Tab. 3 Differences in species diversity indices of different patch types

多样性指数	斑块 A	斑块 B	斑块 C
物种丰富度(R)	7.17 ± 0.27a	6.61 ± 0.21a	5.06 ± 0.25b
优势度指数(Simpson 指数)	0.79 ± 0.02a	0.81 ± 0.01a	0.71 ± 0.02b
香农 - 威纳指数(Shannon-Wiener 指数)	2.48 ± 0.06a	2.45 ± 0.06a	1.81 ± 0.07b
均匀度指数(Pielou 指数)	1.27 ± 0.02a	1.31 ± 0.02a	1.17 ± 0.04b

注:不同字母表示不同斑块类型物种多样性差异显著($P < 0.05$),数据用平均值 ± 标准误表示。

ChinaXiv合作期刊

并提高物种丰富度。

2.3 不同群落斑块显著物种对共存格局分析

对选取的3类不同群落斑块内的所有物种进行零模型显著物种对共存格局分析(表4和图1)。

斑块A在生长旺盛期发现325对相互作用对物种,显著相互作用16对($P<0.05$),其中显著负相互作用4对,显著正相互作用12对,说明在生长旺盛期斑块A主要表现为显著的种间共生关系。其中,优势种短花针茅与牛枝子、砂珍棘豆、银灰旋花、隐子草呈显著正相互作用,而与主要伴生种猪毛蒿呈显著的竞争关系,猪毛蒿则与老瓜头、骆驼蓬为显著的竞争关系。

斑块B物种间既存在正相互作用关系,又存在负相互作用关系,且达到显著水平($P<0.05$)。由种间相互作用分析可知:斑块B共有276对相互作用对物种,显著相互作用的物种对有8对,其中显著负相互作用有5对,显著正相互作用有3对。优势种草木樨状黄耆与米口袋、赖草、猪毛蒿存在显著的竞争关系,与阿尔泰狗娃花为共生关系。另外,阿尔泰狗娃花与赖草之间为显著的竞争关系,米口袋与赖草,猪毛蒿与赖草则为共生关系。

斑块C在生长旺盛期存在567对物种对,显著相互作用物种对7对($P<0.05$),呈正相互作用的物种对有6对,负相互作用的物种对仅有1对,说明

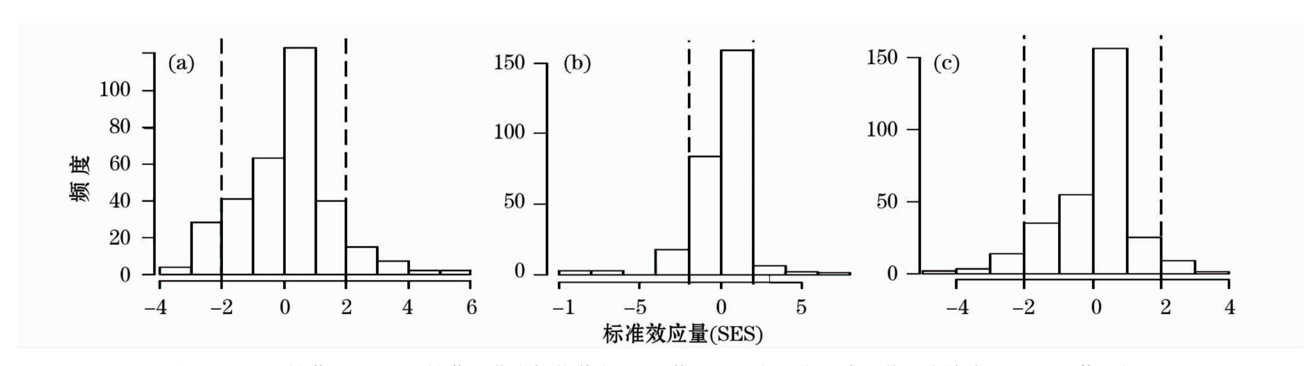
表4 基于零模型不同斑块类型显著物种对分析

Tab.4 Pair analysis of the significant plant species in different patch types

斑块类型	物种1	物种2	观测值	期望值	标准效应量(SES)	P
斑块A	草木樨状黄耆	牛枝子	0.026	0.322	-3.20	0.000
	草木樨状黄耆	隐子草	0.040	0.267	-3.10	0.000
	短花针茅	牛枝子	0.067	0.301	-2.64	0.001
	短花针茅	砂珍棘豆	0.087	0.335	-2.66	0.001
	短花针茅	银灰旋花	0.031	0.590	-3.12	0.000
	短花针茅	隐子草	0.061	0.209	-2.78	0.000
	牛枝子	隐子草	0.086	0.323	-2.34	0.005
	砂珍棘豆	蒙古虫实	0.877	0.462	3.15	0.005
	砂珍棘豆	牛枝子	0.052	0.260	-2.87	0.000
	砂珍棘豆	隐子草	0.132	0.408	-2.00	0.020
	隐子草	银灰旋花	0.120	0.291	-2.19	0.011
	猪毛菜	老瓜头	0.672	0.397	2.93	0.010
	猪毛蒿	短花针茅	0.676	0.217	4.24	0.000
	猪毛蒿	骆驼蓬	0.711	0.337	3.03	0.008
	猪毛蒿	蒙古虫实	0.126	0.392	-2.36	0.006
	猪毛蒿	山苦荬	0.129	0.129	-1.96	0.045
斑块B	阿尔泰狗娃花	草木樨状黄耆	0.120	0.333	-2.53	0.002
	阿尔泰狗娃花	赖草	0.585	0.418	2.90	0.009
	草木樨状黄耆	米口袋	0.808	0.411	3.29	0.003
	赖草	草木樨状黄耆	0.849	0.280	5.97	0.000
	赖草	米口袋	0.130	0.475	-2.68	0.002
	猪毛蒿	草木樨状黄耆	0.796	0.323	6.85	0.000
	猪毛蒿	赖草	0.032	0.272	-3.44	0.000
	猪毛蒿	猫头刺	0.568	0.467	4.10	0.001
斑块C	草木樨状黄耆	角蒿	0.485	0.808	-2.34	0.042
	草木樨状黄耆	山苦荬	0.500	0.815	-2.26	0.045
	角蒿	苜蓿	0.385	0.856	-2.73	0.008
	苦豆子	蒙古虫实	0.128	0.247	-2.47	0.005
	苦豆子	猪毛蒿	0.116	0.080	2.23	0.026
	山苦荬	米口袋	0.489	0.600	-2.11	0.047
	猪毛蒿	砂珍棘豆	0.038	0.160	-2.49	0.006

chinaXiv:201909.00172v1

ChinaXiv合作期刊



注:(a) 短花针茅;(b) 短花针茅 + 草木樨状黄耆;(c) 苦豆子 + 老瓜头 + 猪毛蒿。虚线表示 95% 置信区间。

图 1 基于零模型共存物种对标准效应量的频度分布

Fig. 1 Frequency distribution of standardized effect size among the pairs of coexisting species

存在于斑块 C 内的物种在生长旺盛期主要表现为共生关系。作为斑块优势种的猪毛蒿与苦豆子为显著的负相互作用物种对,说明生长旺盛期的猪毛蒿与苦豆子呈显著的竞争关系;苦豆子与蒙古虫实、猪毛蒿与砂珍棘豆则为显著的正相互作用,说明苦豆子与蒙古虫实、猪毛蒿与砂珍棘豆不存在显著竞争关系。老瓜头则与其他物种无显著相互作用关系。

3 讨 论

荒漠草原长期存在着生境破碎化的现象,群落植被表现为不连续的斑块集群形式,存在明显的斑块化特征,斑块间具有较高异质性,物种组成往往存在差异[14]。多样性指数是对一个群落内物种分布的数量和均匀程度的测定指标,反映了各物种对环境的适应能力和对资源的利用能力[15]。斑块 A 和斑块 B 的土壤水分含量要优于斑块 C,且斑块 A 的物种丰富度、多样性指数和均匀度指数显著高于无短花针茅的斑块 C。这与苟晓伟[16]等在研究荒漠草原群落稳定性中指出的物种丰富度在群落稳定性方面起着关键作用的结论相同,且多年生草本植物在群落稳定中起到了关键的作用。但是也有学者提出多样性和群落稳定性在一定范围内的关系紧密,但是生存环境的改变,导致这种作用关系失衡,多样性较高的情况下由于资源的短缺,造成群落的稳定性下降[17]。因此,群落多样性与稳定性之间的关系还需进一步探讨。另外,斑块 B 内未出现短花针茅与猪毛蒿的显著物种对,出现这种现象的原因可能是由于斑块内部群落结构改变,群落复杂程度使优势种短花针茅在生长过程中产生了自我抑制作用[14],使斑块 A 中短花针茅的重要值高于斑块 B,从而改变了物种间的共存格局,实现了物种大面积共存,这与无放牧干扰会使植物群落总体显现竞争作用的结论不符[18],可能是由于在对斑块选择的过程中样地间的环境条件存在着差异,因此植物在群落水平上与土壤水分、土壤理化性质、地形等因素也存在密切的关系[19]。

通过对不同斑块的共存格局进行对比分析发现,以短花针茅为单一优势种的斑块 A 显著物种对多于斑块 B 和斑块 C,且斑块 A 的多样性指数要高于其他 2 类斑块,说明以短花针茅为优势种的斑块群落结构复杂。在斑块 A 显著物种对的检验中,短花针茅与其他物种存在显著的竞争或共生关系,说明短花针茅对群落的结构稳定及维持的作用最强。在吕世杰等[18,20]对短花针茅群落物种空间分布数量消长的表现形式和对应关系进行定性研究中发现,短花针茅与碱韭(*Allium polyrhizum*)主要表现为竞争关系,与无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)从低密度到高密度逐渐由亲和关系转变为竞争关系,说明群落优势种的生长状况决定着短花针茅群落的空间分布密度。斑块 B 中草木樨状黄耆与其他伴生种的相互作用关系更强,使短花针茅作为共同优势种与其他伴生种的关系发生改变,从而使斑块的均匀度指数和优势度指数高于其他 2 个斑块,且维持了较高的物种丰富度,使群落结构对环境的适应能力和对资源的利用能力更强。苦豆子在斑块 A、斑块 B 和斑块 C 中的重要值都相对较高,但斑块 A 和斑块 B 中短花针茅与苦豆子并未出现相互作用关系,出现这种现象的原因可能是短花针茅与苦豆子处于不同层片,生态位不重叠,加之土壤结构及土壤理化性质不同,因此两者间不存在相互作用关系,这与 Pianka[21]的研究相符。综上所述,短花针茅作为荒漠草原区的优良牧草,对短花针茅荒漠草原群

chinaXiv:201909.00172v1

ChinaXiv合作期刊

落斑块结构、分布格局、多样性及其演化机制还需进一步的深入探讨。

4 结 论

以沙化为代表的不同程度的土壤生境退化及其空间异质性分布,推动了草地群落以不同类型斑块形式交错存在,并显著改变了斑块内部群落的物种构成、多样性水平和物种共存格局。未沙化土壤生境斑块是破碎化草地生物多样性维持的一个重要前提,土壤沙化显著降低了斑块内部群落组织的复杂性和物种间相互作用的强度,不利于群落的自我维持。

参考文献(References):

〔1〕 Daily G C,Ehrlich P R. Population,sustainability,and Earth's carrying capacity〔J〕. BioScience,1992,42(10):761 – 771.

〔2〕 Rietkerk M,Ketner P,Burger J,et al. Multiscale soil and vegetation patchiness along a gradient of herbivore impact in a semi-arid grazing system in West Africa〔J〕. Plant Ecology,2000,148(2):207 – 224.

〔3〕 Haddad N M,Brudvig L A,Clobert J,et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems〔J〕. Science Advances,2015,1(2):1 – 9.

〔4〕 Angers D A,Caron J. Plant-induced changes in soil structure:Processes and feedbacks〔J〕. Biogeochemistry,1998,42(1 – 2):55 – 72.

〔5〕 Arnot C,Fisher P F,Wadsworth R,et al. Landscape metrics with ecotones:Pattern under uncertainty〔J〕. Landscape Ecology,2004,19(2):181 – 195.

〔6〕 韩大勇. 松嫩草地破碎化生境植物组成多样性格局及维持机制〔D〕. 长春:东北师范大学,2009.〔Han Dayong. Diversity Patterns of Plant Constituents and the Maintaining Mechanism in Fragmented Habitats in the Songnen Meadow〔D〕. Changchun:Northeast Normal University,2009.〕

〔7〕 马晓东,李卫红,朱成刚,等. 塔里木河下游土壤水分与植被时空变化特征〔J〕. 生态学报,2010,30(15):4 035 – 4 045.〔Ma Xiaodong,Li Weihong,Zhu Chenggang,et al. Spatio-temporal variation in soil moisture and vegetation along the lower reaches of Tarim River,China〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2010,30(15):4 035 – 4 045.〕

〔8〕 杜峰,梁宗锁,胡莉娟. 植物竞争研究综述〔J〕. 生态学杂志,2004(4):157 – 163.〔Du Feng,Liang Zongsuo,Hu Lijuan. A review on plant competition.〔J〕. Chinese Journal of Ecology,2004(4):157 – 163.〕

〔9〕 高福元. 高寒退化草地甘肃臭草种群空间分布格局对土壤水分的响应〔D〕. 兰州:西北师范大学,2012.〔Gao Fuyuan. A Study on Melica Przewalskyi Population Spatial Pattern and Response to Soil Moisture in Degraded Alpine Grassland〔D〕. Lanzhou:Northwest Normal University,2012.〕

〔10〕 Wang X,Yang X,Wang L,et al. A six-year grazing exclusion changed plant species diversity of a *Stipa breviflora* desert steppe community,Northern China〔J〕. Peer J,2018,6(6):e4359.

〔11〕 贾昭. 黄土丘陵区退耕草地群落盖度与物种组成及地上生物量关系研究〔D〕. 杨凌:西北农林科技大学,2018.〔Jia Zhao. Relationship Between Community Coverage with Species Composition and Aboveground Biomass Production of Farming-Withdrawn Grasslands in Loess Hilly Gully Region〔D〕. Yangling:Northwest A & F University,2018.〕

〔12〕 Gotelli N J,McCabe D J. Species co-occurrence:A meta-analysis of JM Diamond's assembly rules model〔J〕. Ecology,2002,83(8):2 091 – 2 096.

〔13〕 Miguel J M,Martín-Forés I,Acosta-Gallo B,et al. Non-random co-occurrence of native and exotic plant species in Mediterranean grasslands〔J〕. Acta Oecologica,2016,77:18 – 26.

〔14〕 宋乃平,王兴,陈林,等. 荒漠草原"土岛"生境群落物种共存机制〔J〕. 生物多样性,2018,26(7):667 – 677.〔Song Naiping,Wang Xing,Chen Lin. Co-existence mechanisms of plant species within "soil islands" habitat of desert steppe〔J〕. Biodiversity Science,2018,26(7):667 – 677.〕

〔15〕 聂莹莹,杜广明,王国庆,等. 围栏封育对呼伦贝尔草甸草原群落物种多样性的影响〔J〕. 中国草地学报,2016,38(6):106 – 110.〔Nie Yingying,Du Guangming,Wang Guoqing,et al. Effects of enclosure on species diversity of community in Hunlunbuir Meadow Steppe〔J〕. Chinese Journal of Grassland,2016,38(6):106 – 110.〕

〔16〕 苟晓伟. 内蒙古典型草原和荒漠草原群落的稳定性〔D〕. 兰州:兰州大学,2016.〔Gou Xiaowei. The Community Stability of Typical Steppe and Desert Steppe in Inner Mongolia〔D〕. Lanzhou:Lan Zhou University,2016.〕

〔17〕 Ruijven J V,Deyn G B,Berendse F. Diversity reduces invisibility in experimental plant communities:The role of plant species〔J〕. Ecology Letters,2003,6(10):910 – 918.

〔18〕 吕世杰,吴艳玲,刘红梅,等. 春季休牧后放牧强度变化对短花针茅草原植物种群种间关系的影响〔J〕. 草地学报,2016,24(2):302 – 308.〔Lü Shijie,Wu Yanling,Liu Hongmei,et al. Effect of grazing intensity changes on population inter-specific relationship of *Stipa breviflora* steppe after banning in spring〔J〕. Acta Agrestia Sinica,2016,24(2):302 – 308.〕

〔19〕 谢一鸣,许月,康蒙,等. 基于植物多度的群落物种组成与环境关联性分析〔J〕. 生物多样性,2013,21(1):80 – 89.〔Xie Yiming,Xu Yue,Kang Meng,et al. Analysis of plant abundance-based association between community species composition and environmental properties〔J〕. Biodiversity Science,2013,21(1):80 – 89.〕

〔20〕 吕世杰,刘红梅,吴艳玲,等. 放牧对短花针茅荒漠草原建群种与优势种空间分布关系的影响〔J〕. 应用生态学报,2014,25(12):3 469 – 3 474.〔Lü Shijie,Liu Hongmei,Wu Yanling,et al. Effects of grazing on spatial distribution relationships between con-

chinaXiv:201909.00172v1

ChinaXiv合作期刊

structive and dominant species in *Stipa breviflora* desert steppe [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2014,25(12):3 469 - 3 474.]

[21] Pianka E R. Niche relations of disert Lizards[C]// Cody M, Diamond J. Eeology and Evolution of Communities. Cambridge: Harvard University Press,1975:292 - 314.

Species Diversity and Co-Occurrence Pattern at Patch Scale in *Stipa breviflora* Desert Steppe

YU Rui-xin[1,2], TIAN Na[1,2], WANG Xing[1,2], WANG Lei[1,2], YANG Xin-guo[1,2], JIANG Qi[3], ZHOU Juan[1,2]

(1. *Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China*, *Ningxia University*, *Yinchuan* 750021, *Ningxia*, *China*;
2. *Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwest China under Ministry of Education*, *Ningxia University*, *Yinchuan* 750021, *Ningxia*, *China*;
3. *Institute of Desert Control*, *Ningxia Academy of Agriculture and Forestry*, *Yinchuan* 750002, *Ningxia*, *China*)

Abstract: Clarifying the species co-occurrence pattern at patch scale is of important significance for understanding the maintenance mechanism of biodiversity in desert steppe fragmentation. According to the degree of soil habitat degradation at patch scale, this study contrasted and examined the species composition and diversity of different patches and the species co-occurrence pattern based on three typical patches in a *Stipa breviflora* desert steppe. The results indicated that ① Patch A was a consociation and belonged to a community of *S. breviflora*. Patch B was a community of *S. breviflora* and *Astragalus melilotoides*. And Patch C was a community of *Sophora alopecuroides* + *Cynanchum komarovii* + *Artemisia scoparia*); ② In community structure, the diversity of Patch A and Patch B was similar and higher than that of Patch C where *S. breviflora* grew; ③ The analyzed results based on the null model showed that the complexity and intensity of species co-occurrence patterns was in an order of Patch A > Patch B > Patch C. Four of the 16 significant species pairs in patch A had a significant competitive relation, while the species pairs in patch C were reduced to 7 groups, and there was only one significant competitive species pair (*A. scoparia* and *S. alopecuroides*) in patch C. Therefore, Non-desertified soil habitat patches were the important prerequisite for the biodiversity maintenance of desert steppe fragmentation. The non-desertified of soil habitat reduced significantly the complexity of community structure within patches and the intensity of interaction between species, which was unconducive to the self-maintenance of the community.

Key words: desert steppe; *Stipa breviflora*; patch scale; importance value; species diversity; co-occurrence pattern; Ningxia

chinaXiv:201909.00172v1